

Valorização de Coprodutos da Cadeia do Dendê



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 163

Valorização de Coprodutos da Cadeia do Dendê

*João Paulo Saraiva Moraes
Everaldo Paulo Medeiros
Jairo Araújo da Silva
Morsyleide de Freitas Rosa
Men de Sá Moreira de Souza Filho
Lilian Chayn Alexandre
Ana Ribeiro Cassales
Marco Aurélio Santos*

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2013

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici

CEP 60511-110 Fortaleza, CE

Fone: (85) 3391-7100

Fax: (85) 3391-7109

www.cnpat.embrapa.br

cnpat.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Marlon Vagner Valentim Martins*

Secretário-Executivo: *Marcos Antônio Nakayama*

Membros: *José de Arimatéia Duarte de Freitas, Celli*

Rodrigues Muniz, Renato Manzini Bonfim, Rita de Cassia

Costa Cid, Rubens Sonsol Gondim, Fábio Rodrigues de

Miranda

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

Fotos da capa: *João Paulo Saraiva Moraes*

1ª edição (2013): versão eletrônica

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Valorização de coprodutos da cadeia do dendê / João Paulo Saraiva Moraes... [et al.] – Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.

37 p. : il. color.; 14,8 cm x 21 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-8184, 163).

1. Óleo de Palma. 2. Dendê. 3. Extração do óleo. 4. Agregação de valor. I. Moraes, João Paulo Saraiva. II. Medeiros, Everaldo Paulo. III. Silva, Jairo Araújo da. IV. Rosa, Morsyleide de Freitas. V. Souza Filho, Men de Sá Moreira de. VI. Alexandre, Lílían Chayn. VII. Cassales, Ana Ribeiro. VIII. Santos, Marco Aurélio. IX. Série.

CDD 633.851

© Embrapa 2013

Autores

João Paulo Saraiva Morais

Farmacêutico, M.Sc. em Bioquímica de Plantas, pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, joao.morais@embrapa.br

Everaldo Paulo de Medeiros

Químico, D.Sc. em Química, pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, everaldo.medeiros@embrapa.br

Jairo Araújo da Silva

Assistente da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, jairo.silva@embrapa.br

Morsyleide de Freitas Rosa

Engenheira química, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, morsyleide.rosa@embrapa.br

Men de Sá Moreira de Souza Filho

Engenheiro químico, D.Sc. em Engenharia de Produção, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, men.souza@embrapa.br

Lilian Chayn Alexandre

Técnica da Embrapa Agroindústria Tropical,
Fortaleza, CE, lilian.alexandre@embrapa.br

Ana Ribeiro Cassales

Química industrial, M.Sc em Ciências e Tecnologia
de Alimentos, analista da Embrapa Agroindústria
Tropical, CE, ana.cassales@embrapa.br

Marco Aurélio Santos

Sócio-gerente da Oldesa – Óleo de Dendê S.A.,
Nazaré, BA, marcos.santos@oldesa.com.br

Agradecimentos

Agradecimentos à Oldesa – principalmente ao Marco Aurélio Santos e José Bonfim – por permitir a visita à usina e coleta de fotos e dados para a elaboração deste documento.

Apresentação

As cadeias produtivas das oleaginosas são grandes geradoras de coprodutos, o que reforça a emergência de ações de PD&I voltadas à agregação de valor nessas cadeias. No caso do dendê, uma das plantas mais eficientes para produção de óleo vegetal, o rendimento de óleo é de apenas 20% do que é colhido. Dessa forma, há 80% de massa que deve ser mais bem estudada, tanto para aumentar a valorização dos coprodutos já gerados normalmente, quanto para agregar valor a resíduos subutilizados, ou mesmo descartados, no modelo atual de processamento.

Este documento visa descrever o processo de transformação do coco de dendê em seus diversos produtos e coprodutos, servindo de base para elaboração de futuros trabalhos acadêmicos, técnicos e de políticas públicas, de modo a fortalecer essa cadeia produtiva. Com isso, espera-se auxiliar na valorização da cadeia produtiva do dendê, fornecendo um documento norteador para o desenvolvimento de futuras pesquisas com os óleos e fibras derivados da biomassa desse fruto.

Cláudio Rogério Bezerra Torres

Chefe-Geral interino da Embrapa Agroindústria Tropical

Sumário

Introdução	9
Processamento dos frutos de dendê.	10
Coprodutos do processamento do dendê	19
Cachos do dendê	19
Fibra da prensagem do mesocarpo do dendê.....	20
Casquilhas da noz	22
Torta de palmiste	23
POME.....	24
Borra sólida	27
Considerações finais	28
Referências	30

Valorização de Coprodutos da Cadeia do Dendê

João Paulo Saraiva Moraes

Everaldo Paulo Medeiros

Jairo Araújo da Silva

Morsyleide de Freitas Rosa

Men de Sá Moreira de Souza Filho

Lilian Chayn Alexandre

Ana Ribeiro Cassales

Marco Aurélio Santos

O dendê é a principal oleaginosa cultivada atualmente no mundo. Estima-se que a área plantada em 2010, em 44 países, tenha sido de mais de 15 milhões de hectares, gerando uma produção de mais de 217 milhões de toneladas de frutos. Desse volume produzido, foi possível obter 43,5 milhões de toneladas de óleo de palma (ou azeite de dendê), extraído do mesocarpo, e 5,7 milhões de toneladas de óleo de palmiste, oriundo da amêndoa da palma (FAO, 2012). Com base nesses valores, verifica-se uma produção total de óleo de mais de 49 milhões de toneladas, o que equivale a 22,6% da produção mundial de óleo vegetal total.

Dos 44 países que cultivam o dendê, mais de 30 apresentaram aumento na produção entre os anos de 2005 e 2010, refletindo a expansão dessa cultura. O Brasil é o 12º maior plantador e produtor de dendê em fruto. A área estimada de plantio em 2010 foi de 106 mil hectares, e o rendimento da produção foi de quase 1,3 milhão de toneladas (FAO, 2012).

O óleo de palmiste, obtido em pequena quantidade da amêndoa do dendê, é rico em ácidos láurico e mirístico (Figura 1), usado como alimento e base para cosméticos. O óleo de palma é rico em ácidos oleico e linoleico (Figura 1), sendo comumente usado na produção de cosméticos, ceras, lubrificantes, biodiesel e outros produtos, além da indústria alimentícia (EDEM, 2002; PAPONG et al., 2010; TAN et al., 2009).

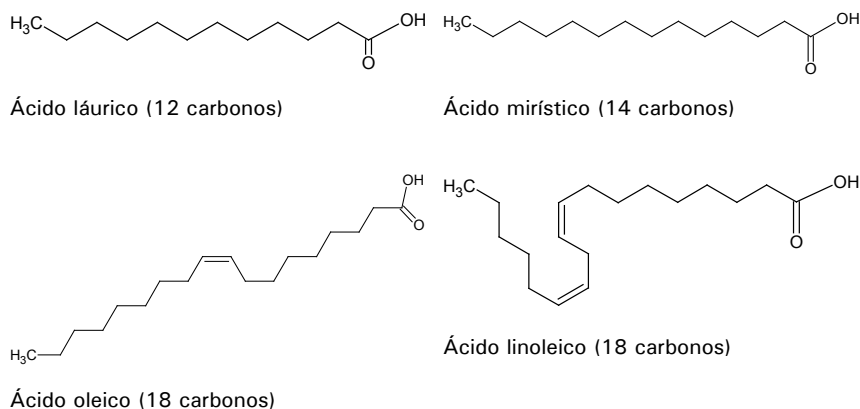


Figura 1. Exemplos de ácidos graxos presentes no óleo de palmiste e óleo de palma.

No processo de extração desses óleos, são gerados diversos coprodutos. Alguns já contam com um mercado definido, enquanto outros ainda precisam de melhor avaliação para agregação de valor e, consequentemente, fortalecimento da cadeia produtiva.

A seguir, serão mostradas as etapas típicas da extração do óleo de palma, com destaque para as que geram coprodutos, e discutidas abordagens para agregação de valor.

Processamento dos frutos de dendê

Os dados a seguir são apresentados com base nas informações fornecidas pela empresa Oldesa, situada no Município de Nazaré, BA.

Inicialmente, os cachos de dendê são transportados das áreas produtoras para a usina, em caminhões (Figura 2). Os cachos são descarregados no pátio, onde permanecem até o momento de entrarem na linha produtiva (Figura 3).

Com o auxílio de uma pá mecânica (Figura 4), os cachos são colocados em um sistema de caldeira com pressão, com capacidade para 3 toneladas/batelada (Figura 5), onde são aquecidos a 130 °C, à pressão de 3 atm por 30 minutos, objetivando esterilizar o material e soltar os frutos dos cachos.

Terminado o tempo de aplicação de vapor com pressão, os frutos são separados dos cachos por um sistema de debulhamento. A seguir, os frutos separados (Figura 6) seguem para uma máquina de prensagem contínua (Figura 7) que separa uma mistura de óleo e água (Figura 8) e a fibra da prensagem do mesocarpo do dendê (Figura 9). Separam-se uma mistura de nozes e fibras e uma mistura líquida de sólidos/água/óleo. As fibras de prensagem do mesocarpo seguirão com os cachos vazios para a produção de energia térmica na própria usina, e as nozes (Figura 10) irão para um equipamento denominado “quebrador de nozes”, originando amêndoas e casquilhos.

A mistura sólidos/água/óleo passa por um equipamento denominado “tridecanter”, “tricanter” ou “separador centrífugo” (Figura 11), que separa o óleo (Figura 12), o líquido da prensagem do mesocarpo do dendê (em inglês, “*palm oil mill effluent*” ou “POME”), que é constituído por água e um teor residual de óleo, e uma borra constituída de sólidos que precipitam quando a temperatura do sistema é diminuída (Figura 13). Posteriormente, a borra passa por uma secagem e pode ser vendida para alimentação animal.

Por um sistema de esteiras (Figura 14), a torta da prensagem do dendê é levada até um separador (Figura 15), onde as nozes são separadas da torta do mesocarpo prensado do dendê por uma separação pneumática. Um aspirador de ar separa as fibras leves das nozes pesadas.

Posteriormente, as amêndoas são conduzidas para um conjunto de prensas (Figura 16), onde o óleo de palmiste é extraído, e a torta (Figura 17) é armazenada até ensacamento e transporte. Esses produtos e coprodutos estão resumidos na Figura 18, e as estratégias para valorização dos coprodutos serão apresentadas a seguir.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 2. Caminhão carregado de cachos de dendê. Geralmente, é possível carregar entre 15 t e 20 t por viagem.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 3. Operações de logística interna dos cachos de dendê.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 4. Transporte interno dos frutos de dendê para as autoclaves.



Figura 5. Enchimento (acima) e fechamento (abaixo) das autoclaves carregadas de cachos de dendê.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 6. Frutos de dendê após a autoclavagem, prontos para entrarem no processo de extração de óleo de palma.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 7. Esmagadora para extração do óleo de palma.

Fotos: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 8. Detalhe da extratora de óleo de palma. A água aquecida (acima) funciona como solvente extrator, formando uma emulsão de óleo, água e material residual (abaixo).

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 9. Detalhe da fibra da prensagem do mesocarpo do dendê.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 10. Amêndoas do dendê, de onde será extraído o óleo de palmiste.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 11. Equipamento tridecanter, responsável pela separação de óleo de palma, POME e borra sólida.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 12. Óleo de palma extraído e pronto para ser refinado.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 13. Borra sólida proveniente do tridecanter.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 14. Sistemas de esteiras que conduzem a mistura composta de fibras de prensagem e amêndoas para um separador.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 15. Separador de fibras e amêndoas de dendê.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 16. Filtro-prensa para extração do óleo de palmiste.

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



Figura 17. Torta de palmiste, vendida como ração animal.

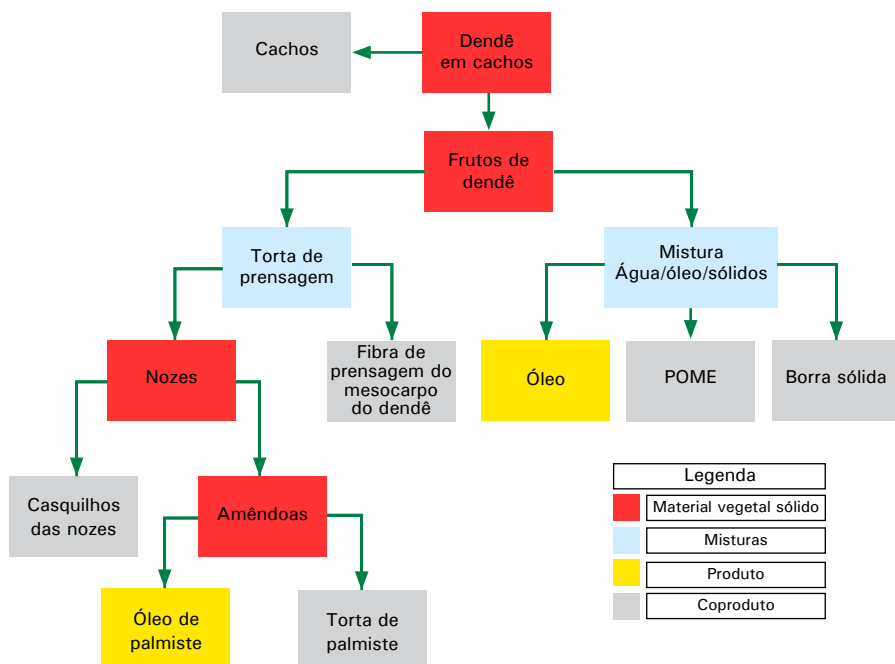


Figura 18. Fluxograma do processamento industrial do dendê e pontos de geração de coprodutos.

Coprodutos do processamento do dendê

Cachos do dendê

Após a retirada dos frutos, os cachos vazios são uma rica fonte de materiais lignocelulósicos, tendo mais de 20% de lignina, 44% de celulose e 33% de hemicelulose (KHALID et al., 2008). Seu aproveitamento principal é como combustível sólido, geralmente na própria usina, devido ao seu conteúdo energético (cerca de 19.000 kJ/kg, ou 4.538 kcal/kg) e grande quantidade de massa disponível (NASRIM et al., 2011). Há estudos que tratam do uso energético desse material para a produção de briquetes e bio-óleo (NASRIM et al., 2011; ABDULLAH; GERHAUSER, 2008).

O cacho pode ser usado como uma fibra para produção de biomateriais, por exemplo, como reforço em matrizes plásticas de polietileno de alta densidade (ISHAK et al., 1998), polipropileno (KHALID et al., 2008), fenol-formaldeído (SREEKALA; SABU, 2011), entre outros.

Os cachos vazios de dendê também podem ser empregados para a produção de carvão ativado de baixo custo, apresentando ótima capacidade de adsorção e de dessorção de compostos organoclorados, podendo ser usado como biorremediador (TAN et al., 2009). Os cachos de dendê possuem um alto teor de xilose, tendo cerca de 24% da matéria seca constituída por xilanas (RAHMAN et al., 2006). Esse material pode ser hidrolisado, dando origem a um caldo com teor de xilose, aplicável, por exemplo, para produção de xilitol (RAHMAN et al., 2007).

Fibra da prensagem do mesocarpo do dendê

A fibra da prensagem do mesocarpo do dendê é constituída por umidade (água presente na fibra), cinzas (minerais), extrativos (componentes não estruturais da parede celular), alfacelulose (polímero de glicose), hemicelulose (outros carboidratos da parede celular que não celulose) e lignina (polímero fenilaromático da parede celular). Esse material é prioritariamente empregado na própria usina, devido ao seu elevado teor de lignina (Tabela 1), sendo comumente usado como combustível sólido para aquecer as caldeiras que geram o vapor e a água aquecida.

Tabela 1. Composição centesimal da fibra da prensagem do mesocarpo de dendê.

Macrocomponente	Teor percentual ± erro padrão (%)
Umidade	6,55 ± 0,30
Cinzas	4,50 ± 0,13
Extrativos	17,80 ± 2,63
Lignina	30,53 ± 6,96
Alfacelulose	37,59 ± 9,85
Hemicelulose	4,68 ± 1,23
Total	101,65 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Na determinação lignocelulósica apresentada, é comum o somatório de massa oscilar entre 80% e 120%, dependendo da fibra analisada.

Com a geração de excedente dessa fibra, pelo aumento da produção de óleo de dendê, estão sendo buscadas novas aplicações para esse material, fora da usina. Uma alternativa interessante é a conversão da fibra em briquetes ou outra forma de combustível sólido que possam ser transportados para termelétricas ou outras unidades que necessitem de energia nesse estado (SHUIT et al., 2009; SUMATHI et al., 2008).

Outros empregos recentes para esse material envolvem a produção de bioprodutos, tais como: polpação para extração de celulose; madeira plástica para fins de mobiliário, construção civil, empacotamento e indústria automobilística; preparo de condicionadores de solo e absorventes de metais pesados, após conversão em carvão ativado (HAMMED et al., 2008; SUMATHI et al., 2008), entre outras funções.

Além da produção de madeira plástica utilizando-se resinas termofixas, é possível preparar peças a partir de borracha com as fibras (JACOB et al., 2004) e mesmo extrair nanofibras de celulose (Figura 19), que posteriormente podem ser empregadas no preparo de nanocompósitos com diversas finalidades.

Foto: João Paulo Saraiva Morais

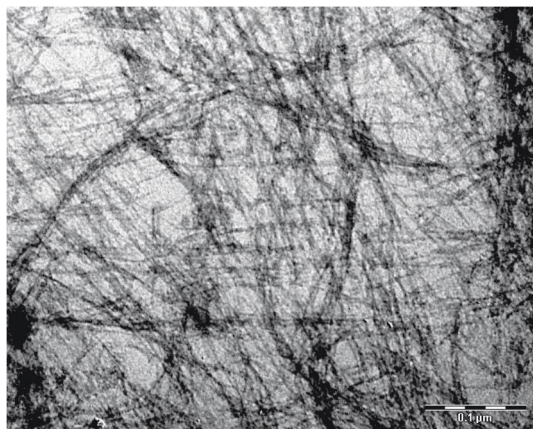


Figura 19. Microscopia eletrônica de nanocristais de celulose de dendê. Eles apresentam aspecto bastante alongado e fino.

Com base no conceito de biorrefinaria, é possível estruturar um sistema que extraia diferentes compostos ou biomateriais e que gere energia

a partir da fibra de prensagem do mesocarpo. Além da extração da celulose polpada, podem-se obter compostos farmacêuticos (CHOO et al., 1996), lignina e açúcares da hemicelulose, agregando valor a essa fibra lignocelulósica. Os resíduos líquidos e sólidos que porventura sejam gerados nessa biorrefinaria podem ser tratados com a geração de biogás e energia, com possível redução de impactos ambientais.

Casquilhas da noz

As casquilhas da noz do dendê são o material com o maior potencial calorífico do processo. Sua composição lignocelulósica é estimada em mais de 27% de celulose, 21% de hemicelulose e 44% de lignina (ABNISA et al., 2011), com um potencial energético de mais de 20.000 kJ/kg (cerca de 4.800 kcal/kg) (NASRIN et al., 2011). Assim, o teor de ligninas nas casquilhas é maior que o dobro do teor nos cachos vazios, e ainda maior que na fibra da prensagem do mesocarpo.

Vários estudos foram realizados para otimizar o aproveitamento comercial da casquilha da noz de dendê, destacando-se sua utilização na produção do carvão ativado (DAUD et al., 2000; JIA; LUA, 2008; LUA et al., 2006) e como combustível (ISLAM et al., 1999; HUSAIN et al., 2002; SALEMA; ANI, 2011).

O carvão ativado de casquilha de noz pode ser usado tanto para adsorção de materiais tóxicos em meios líquidos (JIA; LUA, 2008; NOMANBHAY; PALANISAMY, 2005; LUA; JIA, 2009) quanto em meios gasosos (ARAMI-NIYA et al., 2010, 2011; TAN; ANI, 2004). Pode ainda ser usado como um suporte para catalisadores (BAROUTIAN et al., 2010), devido à sua elevada área superficial.

Outra aplicação interessante das casquilhas, quando devidamente tratadas, é como substitutas do cimento ou granito, em agregados de concreto (MANNAN; GANAPATHY, 2004; SHAFIGH et al., 2011). Concretos contendo casquilhas apresentam um peso menor, devido à menor densidade do material vegetal, comumente apresentando desempenho mecânico similar ao concreto contendo granito ou sem as casquilhas. Quando aplicado um filme de álcool polivinílico (PVA), foi possível melhorar ainda mais as propriedades do concreto, além de reduzir sua capacidade de absorção de água (MANNAN et al., 2006).

Torta de palmiste

A torta de palmiste certamente é o principal coproduto da cadeia produtiva do dendê, já tendo uso estabelecido como ração animal. Ela é composta por cerca de 16,1% de proteína (Tabela 2) e 15,2% de fibras (SABU et al., 2005), podendo ser usada como componente na ração de vários animais, como búfalos, bovinos de leite, bovinos de corte, ovinos, caprinos, aves, suínos e peixes, variando a concentração de 10% a 20% em peixes até 50% a 80% para bovinos de corte (CARVALHO et al., 2012; CUNHA et al., 2012; ILUYEMI et al., 2010; ZAHARI; ALIMON, 2004).

Tabela 2. Conteúdo de aminoácido em torta de palmiste, em g/16 g de N (ALIMON, 2004).

Aminoácido	Concentração	Aminoácido	Concentração	Aminoácido	Concentração
Alanina	3,83	Arginina	11,56	Ácido aspártico	3,63
Cistina ⁽¹⁾	1,13	Glicina	4,17	Ácido glutâmico	16,80
Histidina	1,91	Isoleucina	3,22	Leucina	6,07
Lisina	2,68	Metionina	1,75	Fenilalanina	3,96
Prolina	3,31	Serina	4,11	Treonina	2,75
Tirosina	2,60	Valina	5,05		

⁽¹⁾Uma molécula de cistina é composta por duas moléculas de cisteína.

O teor residual de óleo deixado na torta lhe confere um sabor desagradável, impedindo sua utilização na alimentação humana. A extração convencional desse óleo é inviável economicamente, embora novas técnicas, como o uso de fluido supercrítico, possam ser um indicativo de solução para esse problema (RAHMAN et al., 2012). Outra solução é emprego a torta como matéria-prima para hidrolisados proteicos (ALIMON, 2004; NG et al., 2012; ZAREI et al., 2012).

A torta de palmiste também é utilizada como substrato sólido para o crescimento de microrganismos como *Aspergillus niger*, visando à obtenção de enzimas como beta-mananase (ABDESHAHIAN et al., 2010), mananase (ONG et al., 2004), tanase (SABU et al., 2005) ou

xilanase (PAL; KHANUM, 2010); *Yarrowia lipolytica* para a produção de lipases (KARANAM; MEDICHERLA, 2010) e *Rhizopus* spp. para produção de fitase (RAMACHANDRAN et al., 2005).

POME

“*Palm oil mill effluent*”, ou simplesmente “POME”, é o termo que designa o efluente líquido gerado em uma usina de dendê (Figura 20). Estima-se que, para cada tonelada de óleo bruto de palma produzida, são necessárias de 5 t a 7,5 t de água, das quais mais da metade termina como um constituinte do POME (WU et al., 2009). Grande parte dos sólidos solúveis do POME são carboidratos ou outros materiais orgânicos, como proteínas e lipídios (ISMAIL et al., 2010; WU et al., 2009).

Esse coproduto era visto como um passivo ambiental (Tabela 3), cujos desafios tecnológicos consistiam na busca pelo tratamento mais eficiente antes de dispô-lo no ambiente (EDEWOR, 1986; FAKHRU’L-RAZI; NOOR, 1999; HO; CHAN, 1986; NG et al., 1987).

Tradicionalmente, o POME é empregado de modo controlado como fertilizante, nas próprias plantações de dendê (WOOD et al., 1979) ou no mar, para estimular a produção de microalgas que possam ser usadas como ração (VAIRAPPAN; YEN, 2008).

Foto: João Paulo Saraiva Moraes

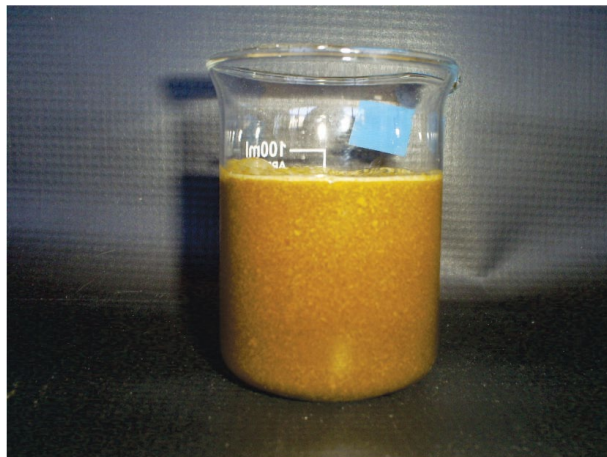


Figura 20. Amostra de POME.

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos do POME (WU et al., 2009).

Parâmetro	Quantidade
Água	95% a 96%
Óleos e graxas	8.370 mg/L
Sólidos totais	43.635 mg/L
Sólidos em suspensão	19.020 mg/L
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	25.000 mg/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	53.630 mg/L

Recentemente, esse efluente começou a ser entendido como uma fonte de matéria orgânica para as mais diversas aplicações industriais (WU et al., 2009), principalmente na geração de energia, como por meio de hidrogênio (ATIF et al., 2005; CHONG et al., 2009; ISMAIL et al., 2010; LAM; LEE, 2011), metano (POH; CHONG, 2009), biogás (ALRAWI et al., 2011; BASRI et al., 2010), ou mesmo biodiesel ou bioetanol, utilizando o POME como substrato na cultura de microalgas (LAM; LEE, 2011).

É possível usar o POME como substrato para processos fermentativos e, com isso, gerar uma diversidade de produtos, de acordo com a bactéria ou fungo inoculado: biofloculantes à base de *Staphylococcus cohnii* (WONG et al., 2012); lipase a partir de *Trichoderma* sp., *Aspergillus* sp., *Mucor* sp. (NWUCHE; OGBONNA, 2011), *Candida cylindracea* ou *Penicillium citrinum* (SALIHU et al., 2011a,b); celulase em cultura de *Trichoderma reesei* (ZAINAN et al., 2011); ácido cítrico (ALAM et al., 2008) ou ácidos fenólicos (JAMAL et al., 2011) produzidos por *A. Niger*, e ácidos orgânicos de cadeia curta, como ácido acético, propiônico e n-butírico, a partir de um inóculo proveniente da sedimentação do próprio POME (MUMTAZ et al., 2008).

Merece destaque a produção de polihidroxialcanoatos (PHA) por bactérias cultivadas em POME. Esses são polímeros biodegradáveis, substituintes de vários polímeros derivados do petróleo, obtidos a partir

de muitos tipos diferentes de bactérias, cultivadas em vários substratos que servem como fonte de carbono (SUDESH et al., 2011). Estima-se que 40% do custo de produção se deva aos insumos utilizados, dos quais mais de 70% se referem à fonte de carbono (WU et al., 2009). Apesar do ganho ambiental que os PHAs proporcionam em relação aos polímeros do petróleo, ainda há questões econômicas que devem ser equacionadas. Nesse contexto, o POME, como um subproduto gerado em grandes montantes e adensado na indústria, surge como um candidato a substrato de origem a PHAs competitivos economicamente, capaz de ser produzido em escala, baixando o custo de produção em torno de € 9,00/kg para até € 0,74/kg (MUMTAZ et al., 2010; SUDESH et al., 2011, WU et al., 2009). Dessa forma, a produção de PHAs em função do inóculo e das condições operacionais dos biorreatores estão sendo amplamente pesquisadas (DIN et al., 2012; MOHAMMADI et al., 2012; ZAKARIA et al., 2010).

Um melhor aproveitamento dos diversos materiais presentes no POME pode ser alcançado segundo os conceitos da biorrefinaria. Exemplos disso são a remoção do óleo residual ou metais pesados como ferro, zinco e manganês por meio de zeólitas naturais (SHAVANDI et al., 2012a,b) e a remoção de carotenos via cromatografia (AHMAD et al., 2008, 2009, 2010).

Com base na química verde, um emprego inovador do uso do POME foi a síntese de nanopartículas de ouro, obtendo-se esferas de 18,75 nm de diâmetro, em média, com alguma formação de partículas triangulares e hexagonais (GAN et al., 2012).

Também estão sendo conduzidas pesquisas modernas abordando a transformação do POME em composto orgânico, antes de ser aplicado nos campos como fertilizante (RUPANI et al., 2010; SINGH et al., 2010, 2011).

A água do POME pode ser purificada, por sistemas de membrana, de modo que atenda, por exemplo, às exigências hídricas de uma granja de frangos (AHMAD et al., 2003).

A análise do ciclo de vida está sempre associada a todas essas abordagens, visto que o melhor resultado para uma região nem sempre poderá ser o aproveitamento econômico mais adequado para outras. Além disso, essa ferramenta auxilia na internalização dos custos ambientais, permitindo uma comparação ampla, por exemplo, com o petróleo e seus derivados (SILALERTRUKSA et al., 2012; STICHNOTHE; SCHICHARDT, 2011).

Diversas Unidades da Embrapa estão trabalhando com esse material. Entre outras atividades em andamento, podem ser citados estudos para a produção de biogás, com aplicações energéticas, ou a síntese de nanomateriais, com aplicações médico-hospitalares.

Borra sólida

A borra sólida (Tabela 4) é um resíduo relativamente novo na cadeia produtiva do dendê. Por ser um componente do POME, contribui para o aumento de seus sólidos totais. A fim de reduzir a carga poluente, o POME passa por um sistema de tridecanter. Como esse aparelho separa sólidos em suspensão da mistura água/óleo, a borra sólida é separada do POME ainda dentro da usina, tanto reduzindo a DQO e DBO do líquido, quanto concentrando os sólidos na borra sólida.

Tabela 4. Parâmetros físico-químicos da borra sólida obtida da decantação do POME (RAZAK et al., 2012)

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Umidade (%)	76,46	Potássio (%)	1,40
Celulose (%)	5,09	Magnésio (%)	0,30
Lignina (%)	7,22	Manganês (ppm)	38,00
Hemicelulose (%)	0,93	Ferro (ppm)	4.438,00
Cinzas (%)	5,23	Nitrogênio (%)	2,80
DQO (mg/kg)	316.937	Relação C/N	19,70
DBO (mg/kg)	41.813	Fósforo (%)	0,20
Óleos e graxas (mg/kg)	43.000	Cálcio (%)	0,90
Sólidos totais (mg/kg)	582.000	Boro (ppm)	9,00
pH	4,08	Cobre (ppm)	59,00
Carbono (%)	55,17	Zinco (ppm)	30,00
Enxofre (%)	0,30		

Essa borra pode ser usada como um acelerador no processo de preparo do composto orgânico que é adicionado aos cachos vazios para servirem de adubo orgânico (YAHYA et al., 2010), ou como substrato de fermentação controlada, para produção de materiais de alto valor agregado, como butanol, por *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* (HIPOLITO et al., 2008), ou celulasas e polioses, por *Trichoderma asperellum* e *Aspergillus fumigatus* (RAZAK et al., 2012).

Tendo-se em vista que esse resíduo ainda é relativamente novo, mais pesquisas devem ser feitas tanto para se caracterizar melhor o material, quanto para encontrar a destinação que gere o menor prejuízo ambiental e maior lucro econômico. Nesse sentido, Unidades do Sistema Embrapa estão caracterizando a borra sólida produzida no Brasil, bem como avaliando seu potencial para a produção de biogás ou suplemento para meio de cultura, a fim de serem produzidos nanomateriais com aplicações em biomateriais médicos e/ou de produtos têxteis.

Considerações finais

O óleo de palma é um dos mais importantes no mercado mundial atual e tende a crescer em todo o mundo. Isso acarretará o aumento da geração de seus coprodutos.

Para que haja mais apoio à cadeia produtiva do dendê, seus coprodutos devem ser entendidos como outras fontes de riqueza ao longo da cadeia, e não como um custo a mais para se atingir o cumprimento de legislações ambientais.

Referências

ABDESHAHIAN, P.; SAMAT, N.; HAMID, A. A; YUSOFF W. M. W. Utilization of palm kernel cake for production of b-mannanase by *Aspergillus niger* FTCC 5003 in solid substrate fermentation using an aerated column bioreactor. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 37, n.1, p.103-109, 2010.

ABDULLAH, N.; GERHAUSER, H. Bio-oil derived from empty fruit bunches. **Fuel**, v. 87, n.12, p. 2606-2613, 2008.

ABNISA, F.; DAUD, W. M. A. W.; HUSIN, W. N. W.; SAHU, J. N. Utilization possibilities of palm shell as a source of biomass energy in Malaysia by producing bio-oil in pyrolysis process. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p.1863-1872, 2011.

AHMAD, A. L.; ISMAIL, S.; BHATIA, S. Water recycling from palm oil mill effluent (POME) using membrane technology. **Desalination**, v.157, n.1-3, p.87-95, 2003.

AHMAD, A. L.; CHAN, C. Y.; ABD SHUKOR, S. R.; MASHITAH, M. D. Recovery of oil and carotenes from palm oil mill effluent (POME). **Chemical Engineering Journal**, v.141, n.1-3, p.383-386, 2008.

AHMAD, A. L.; CHONG, M. F.; BHATIA, S. A comparative study on the membrane based palm oil mill effluent (POME) treatment plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n.1-3, p.166-174, 2009.

AHMAD, A. L.; CHAN, C. Y.; SHUKOR, S. R. A.; MASHITAH, M. D. Adsorption chromatography of Carotenes from extracted oil of palm oil mill effluent. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, n. 21, p. 2623-2627, 2010.

ALAM, M. Z.; JAMAL, P.; NADZIR, M. M. Bioconversion of palm oil mill effluent for

citric acid production: statistical optimization of fermentation media and time by central composite design. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, n. 7, p. 1177-1185, 2008.

ALIMON, A. R. The nutritive value of palm Kernel cake for animal feed. **Palm Oil Development**, v. 40, n. 1, p.12-14, 2004.

ALRAWI, R. A.; AHMAD, A.; ISMAIL, N.; KADIR, M. O. A. Anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent with rumen fluid as a co-substrate. **Desalination**, v. 269, n. 1-3, p. 50-572, 2011.

ARAMI-NIYA, A.; DAUD, W. M. A. W.; MJALLI, F. S. Comparative study of the textural characteristics of oil palm shell activated carbon produced by chemical and physical activation for methane adsorption. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 89, n. 6, p.657-664, 2011.

ARAMI-NIYA, A.; DAUD, W. M. A. W.; MJALLI, F. S. Using granular activated carbon prepared from oil palm shell by $ZnCl_2$ and physical activation for methane adsorption. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 89, n. 2, p.197-203, 2010.

ATIF, A. A. Y.; FAKHRU'L-RAZI, A.; NGAN, M. A.; MORIMOTO, M.; IYUKE, S. E.; VEZIROGLU, N. T. Fed batch production of hydrogen from palm oil mill effluent using anaerobic microflora. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 30, n.13-14, p.1393-1397, 2005.

BAROUTIAN, S.; AROUA, M. K.; RAMAN, A. A. A.; SULAIMAN, N. M. N. Potassium hydroxide catalyst supported on palm shell activated carbon for transesterification of palm oil. **Fuel Processing Technology**, v. 91, n. 11, p.1378-1385, 2010.

BASRI, M. F.; YACOB, S.; HASSAN, M. A.; SHIRAI, Y.; WAKISAKA, M.; ZAKARIA, M. R.; PHANG, L.Y. Improved biogas production from palm oil mill effluent by a scaled-down anaerobic treatment process. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, n. 3, p. 505-514, 2010.

CARVALHO, J. S. O.; AZEVEDO, R. V.; RAMOS, A. P. S.; BRAGA, L. G. T. Agroindustrial byproducts in diets for Nile tilapia juveniles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 3, 479-484, 2012.

CHONG, M.-L.; RAHIM, R. A.; SHIRAI, Y.; HASSAN M. A. Biohydrogen production by *Clostridium butyricum* EB6 from palm oil mill effluent. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 34, n. 2, p. 764-771, 2009.

CHOO, Y. -M.; YAP, S. -CH.; OOI, C. -K.; MA, A. -N.; GOH, S. -H.; ONG, A. S. -H. Recovered oil from palm-pressed fiber: a good source of natural carotenoids, vitamin E, and sterols. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 73, n. 5, p. 599-602, 1996.

CUNHA, O. F. R.; NEIVA, J. N. M.; MACIEL, R. P.; MIOTTO, F. R. C.; NEIVA, A. C. G. R.; RESTLE, J. Avaliação bioeconômica do uso da torta de dendê na alimentação de vacas leiteiras. **Ciência Animal Brasileira**, v.13, n. 3, p. 315-3222, 2012.

DAUD, W. M. A. W.; ALI, W. S. W.; SULAIMAN, M. Z. The effects of carbonization temperature on pore development in palm-shell-based activated carbon. **Carbon**, v. 38, n.14, p.1925-1932, 2000.

DIN, M. F. M.; MOHANADOSS, P.; UJANG, Z.; LOOSDRECHT, M.; YUNUS, S. M.; CHELLIAPAN, S.; ZAMBARE, V.; OLSSON, G. Development of Bio-PORec® system for polyhydroxyalkanoates (PHA) production and its storage in mixed cultures of palm oil mill effluent (POME). **Bioresource Technology**, v.124, p. 208-216, 2012.

EDEM, D. O. Palm oil: biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: A review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 57, n. 3-4, p. 319-341, 2002.

EDEWOR, J. O. A comparison of treatment methods for palm oil mill effluent (POME) wastes. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 36, n. 5, p. 212-218, 1986.

FAO. FAOSTAT Agricultural Data, 2012. **Production. Crops**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx/>>. Acesso em: 20 nov. 2012.

FAKHRU'L-RAZI, A.; NOOR, M. J. M. M. Treatment of palm oil mill effluent (POME) with the membrane anaerobic system (MAS). **Water Science and Technology**, v. 39, n. 10-11, p. 159-163, 1999.

GAN, P. P.; NG, S. H.; HUANG, Y.; FONG, S.; LI Y. Green synthesis of gold nanoparticles using palm oil mill effluent (POME): a low-cost and eco-friendly viable approach. **Bioresource Technology**, v.113, p.132-1352, 2012.

HAMEED, B. H.; TAN, I. A. W.; AHMAD, A. L. Optimization of basic dye removal by oil palm fibre-based activated carbon using response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**, v.158, n. 2-3, p. 324-332, 2008.

HIPOLITO, C. N.; CRABBE, E.; BADILLO, C. M.; ZARRABAL, O. C.; MORA, M. A. M.; FLORES, G. P.; CORTAZAR, M. A. H.; ISHIZAKI, A. Bioconversion of industrial wastewater from palm oil processing to butanol by *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4 (ATCC 13564). **Journal of Cleaner Production**, v.16, n. 5, p. 632-638, 2008.

HO, C. C.; CHAN, C. Y. The application of lead dioxide-coated titanium anode in the electroflotation of palm oil mill effluent. **Water Research**, v. 20, n.12, p.1523-1527, 1986.

HUSAIN, Z.; ZAINAC, Z.; ABDULLAH, Z. Briquetting of palm fibre and shell from the processing of palm nuts to palm oil. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, n. 6, p. 505-509, 2002.

ILUYEMI, F. B.; HANAFI, M. M.; RADZIAH, O.; KAMARUDIN, M. S. Nutritional evaluation of fermented palm kernel cake using red tilapia. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 4, p. 502-507, 2010.

ISHAK, Z. A. M.; AMINULLAH, A.; ISMAIL, H.; ROZMAN, H. D. Effect of silane-based coupling agents and acrylic acid based compatibilizers on mechanical properties of oil palm empty fruit bunch filled high-density polyethylene composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 68, n. 13, p. 2189-2203, 1998.

ISLAM, F. N.; ZAILANI, R.; ANI, F. N. Pyrolytic oil from fluidised bed pyrolysis of oil palm shell and its characterisation. **Renewable Energy**, v. 17, n. 1, p. 73-84, 1999.

ISMAIL, I.; HASSAN, M. A.; RAHMAN, N. A. A.; SOON, C. S. Thermophilic biohydrogen production from palm oil mill effluent (POME) using suspended mixed culture. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 1, p. 42-47, 2010.

JACOB, M.; THOMAS, S.; VARUGHESE, K. T. Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. **Composites Science and Technology**, v. 64, n. 7-8, p. 955-965, 2004.

JAMAL, P.; IDRIS, Z. M.; ALAM, M. Z. Effects of physicochemical parameters on the production of phenolic acids from palm oil mill effluent under liquid-state fermentation by *Aspergillus niger* IBS-103ZA. **Food Chemistry**, v. 124, n. 4, p. 1595-1602, 2011.

JIA, Q.; LUA, A. C. Effects of pyrolysis conditions on the physical characteristics of oil-palm-shell activated carbons used in aqueous phase phenol adsorption. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 83, n. 2, p.175-1792, 2008.

KARANAM, S. K.; MEDICHERLA, N. R. Application of Doehlert experimental design for the optimization of medium constituents for the production of L-asparaginase from Palm Kernel cake (*Elaeis guineensis*). **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, v. 2, p. 7-12, 2010.

KHALID, M.; RATNAM, C. T.; CHUAH, T. G.; ALI, S.; CHOONG, T. S. Y. Comparative study of polypropylene composites reinforced with oil palm empty fruit bunch fiber and oil palm derived cellulose. **Materials & Design**, v. 29, n. 1, p. 173-178, 2008.

LAM, M. K.; LEE, K. T. Renewable and sustainable bioenergies production from palm oil mill effluent (POME): win-win strategies toward better environmental protection. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 1, p. 124-141, 2011.

LUA, A. C.; JIA, Q. Adsorption of phenol by oil–palm-shell activated carbons in a fixed bed. **Chemical Engineering Journal**, v. 105, n. 2-3, p. 455-461, 2009.

LUA, A. C.; LAU, F. Y.; GUO, J. Influence of pyrolysis conditions on pore development of oil-palm-shell activated carbons. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 76, n. 1-2, p. 96-102, 2006.

MANNAN, M. A.; ALEXANDER, J.; GANAPATHY, C.; TEO, D. C. L. Quality improvement of oil palm shell (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete. **Building and Environment**, v. 41, n. 9, p. 1239-1242, 2006.

MANNAN, M. A.; GANAPATHY, C. Concrete from an agricultural waste-oil palm shell (OPS). **Building and Environment**, v. 39, n. 4, p. 441-448, 2004.

MOHAMMADI, M.; HASSAN, M. A.; PHANG, L.-Y.; SHIRAI, Y.; MAN, H. C.; ARIFFIN, H. Intracellular polyhydroxyalkanoates recovery by cleaner halogen-free methods towards zero emission in the palm oil mill. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 353-360, 2012.

MUMTAZ, T.; ABD-AZIZ, S.; RAHMAN, N. A.; YEE, P. L.; SHIRAI, Y.; HASSAN, M. A. Pilot-scale recovery of low molecular weight organic acids from anaerobically treated palm oil mill effluent (POME) with energy integrated system. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 21, p. 3900-3905, 2008.

NASRIN, A. B.; CHOO, Y. M.; LIM, W. S.; JOSEPH, L.; MICHAEL, S.; ROHAYA, M. H.; ASTIMAR, A. A.; LOH, S. K. Briquetting of empty fruit bunch fibre and palm shell as a renewable energy fuel. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 446-451, 2011.

NG, R. T. L.; TAY, D. H. S.; NG, D. K. S. Simultaneous process synthesis, heat and power integration in a sustainable integrated biorefinery. **Energy & Fuels**, v. 26, n. 12, p. 7316-7330, 2012.

NG, W. J.; GOH, A. C. C.; TAY, J. H. Palm oil mill effluent (POME) treatment - An assessment of coagulants used to aid liquid-solid separation. **Biological Wastes**, v. 21, n. 4, p. 237-248, 1987.

NOMANBHAY, S. M.; PALANISAMY, K. Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 43-53, 2005.

NWUCHE, C. O.; OGBONNA, J. C. Isolation of lipase producing fungi from palm oil mill effluent (POME) dump sites at Nsukka. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 1, p. 113-116, 2011.

ONG, L. G. A.; ABD-AZIZ, S.; NORAINI, S.; KARIM, M. I. A.; HASSAN, M. A. Enzyme production and profile by *Aspergillus niger* during solid substrate fermentation using palm kernel cake as substrate. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 118, n. 1-3, p. 73-79, 2004.

PAL, A.; KHANUM, F. Production and extraction optimization of xylanase from *Aspergillus niger* DFR-5 through solid-state-fermentation. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 19, p. 7563-7569, 2010.

PAPONG, S.; CHOM-IN, T.; NOKSA-Nga, S.; MALAKUL, P. Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand. **Energy Policy**, v. 38, n.1, p. 226-233, 2010.

POH, P. E.; CHONG, M. F. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 1-9, 2009.

RAHMAN, N. N. A.; AL-RAWI, S. S.; IBRAHIM, A. H.; NAMA, M. H. B.; KADIR, M. O. A. Supercritical carbon dioxide extraction of the residual oil from palm kernel cake. **Journal of Food Engineering**, v.108, n.1, p.166-170, 2012.

RAHMAN, S. H. A.; CHOUDHURY, J. P.; AHMAD, A. L. Production of xylose from oil palm empty fruit bunch fiber using sulfuric acid. **Biochemical Engineering Journal**, v. 30, n.1, p. 97-103, 2006.

RAHMAN, S. H. A.; CHOUDHURY, J. P.; AHMAD, A. L.; KAMARUDDIN, A. H. Optimization studies on acid hydrolysis of oil palm empty fruit bunch fiber for production of xylose. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 3, p. 554-559, 2007.

RAMACHANDRAN, S.; ROOPESH, K.; NAMPOOTHIRI, K. M.; SZAKACS, G.; PANDEY, A. Mixed substrate fermentation for the production of phytase by *Rhizopus* spp. using oilcakes as substrates. **Process Biochemistry**, v. 40, n. 5, p.1749-1754, 2005.

RAZAK, M. N. A.; IBRAHIM, M. F.; YEE, P. L.; HASSAN, M. A.; ABD-AZIZ, S. Utilization of oil palm decanter cake for cellulase and polyoses production. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v.17, n. 3, p. 547-555, 2012.

RUPANI, P. F.; SINGH, R. P.; IBRAHIM, M. H.; ESA, N. Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: vermicomposting as a sustainable practice. **World Applied Sciences Journal**, v.10, n.10, p.1190-1201, 2010.

SABU, A.; PANDEY, A.; JAAFAR DAUD, M.; SZAKACS, G. Tamarind seed powder and palm kernel cake: two novel agro residues for the production of tannase under solid state fermentation by *Aspergillus niger* ATCC 16620. **Bioresource Technology**, v. 96, n.11, p.1223-1228, 2005.

SALEMA, A. A.; ANI, F. N. Microwave induced pyrolysis of oil palm biomass. **Bioresource Technology**, v.102, n. 3, p. 3388-3395, 2011.

SALIHU, A.; ALAM, M. D.; KARIM, M. I. A.; SALLEH, H. M. Optimization of lipase production by *Candida cylindracea* in palm oil mill effluent based medium using statistical experimental design. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 69, n. 1-2, p. 66-73, 2011.

SALIHU, A.; ALAM, M. Z.; KARIM, M. I. A.; SALLEH, H. M. Evaluation of nutritional components by Plackett-Burman design for *Penicillium citrinum* lipase production using palm oil mill effluent. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n. 81, p.18704-18708, 2011.

SHAFIGH, P.; JUMAAT, M. Z.; MAHMUD, H. Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 4, p.1848-1853, 2011.

SHAVANDI, M. A.; HADDADIAN, Z.; ISMAIL, M. H. S.; ABDULLAH, N.; ABIDIN, Z. Z. Removal of residual oils from palm oil mill effluent by adsorption on natural zeolite. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 4017-4027, 2012.

SHAVANDI, M. A.; HADDADIAN, Z.; ISMAIL, M. H. S.; ABDULLAH, N.; ABIDIN, Z. Z. Removal of Fe(III), Mn(II) and Zn(II) from palm oil mill effluent (POME) by natural zeolite. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 43, n. 5, p. 750-759, 2012.

SHUIT, S. H.; TAN, K. T.; LEE, K. T.; KAMARUDDIN, A. H. Oil palm biomass as a sustainable energy source: a Malaysian case study. **Energy**, v. 34, n. 9, p.1225-1235, 2009.

SILALERTRUKSA, T.; BONNET, S.; GHEEWALA, S. H. Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 225-232, 2012.

SINGH, R. P.; IBRAHIM, M. H.; ESA, N.; ILIYANA, M. S. Composting of waste from palm oil mill: A sustainable waste management practice. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 9, n. 4, p. 331-344, 2010.

SINGH, R. P.; EMBRANDIRI, A.; IBRAHIM, M. H.; ESA, N. Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 4, p. 423-434, 2011.

SREEKALA, M. S.; SABU, T. Utilization of short oil palm empty fruit bunch fiber (OPEFB) as a reinforcement in phenol-formaldehyde resins: studies on mechanical properties. **Journal of Polymer Engineering**, v.16, n. 4, p.265-294, 2011.

STICHNOTHE, H.; SCHUCHARDT, F. Life cycle assessment of two palm oil production systems. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3976-3984, 2011.

SUDESH, K.; BHUBALAN, K.; CHUAH, J. -A.; KEK, Y. -K.; KAMILAH, H.; SRIDEWI, N.; LEE, Y. -F. Synthesis of polyhydroxyalkanoate from palm oil and some new applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 89, n. 5, p.1373-1386, 2011.

SUMATHI, S.; CHAI, S. P.; MOHAMED, A. R. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, n. 9, p. 2404-2421, 2008.

TAN, I. A. W.; AHMAD, A. L.; HAMEED, B. H. Adsorption isotherms, kinetics, thermodynamics and desorption studies of 2,4,6-trichlorophenol on oil palm empty fruit bunch-based activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v.164, n. 2-3, p. 473-482, 2009.

TAN, J. S.; ANI, F. N. Carbon molecular sieves produced from oil palm shell for air separation. **Separation and Purification Technology**, v. 35, n.1, p. 47-54, 2004.

TAN, K. T.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R.; BHATIA, S. Palm oil: Addressing issues and towards sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.13, n. 2, p. 420-427, 2009.

VAIRAPPAN, C. S.; YEN, A. M. Palm oil mill effluent (POME) cultured marine microalgae as supplementary diet for rotifer culture. **Journal of Applied Phycology**, v. 20, n. 5, p. 603-608, 2008.

WONG, Y. -S.; ONG, S. -A.; TENG, T. -T.; AMINAH L. N.; KUMARAN, K. Production of Bioflocculant by *Staphylococcus cohnii* ssp. from Palm Oil Mill Effluent (POME). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 3775-3781, 2012.

WOOD, B. J.; PILLAI, K. R.; RAJARAINAM, J. A. Palm oil mill effluent disposal on land. **Agricultural Wastes**, v.1, n. 2, p.103-127, 1979.

WU, T. Y.; MOHAMMAD, A. W.; JAHIM, J. M.; ANUAR N. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. **Biotechnology Advances**, v. 27, n.1, p. 40-522, 2009.

YAHYA, A.; SYE, C. P.; ISHOLA, T. A.; SURYANTO, H. Effect of adding palm oil mill decanter cake slurry with regular turning operation on the composting process and quality of compost from oil palm empty fruit bunches. **Bioresource Technology**, v.101, n. 22, p. 8736-8741, 2010.

ZAHARI, M. W.; A R ALIMON, A. R. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. **Palm Oil Developments**, v. 40, p. 5-9, 2004.

ZAINAN, N. H.; ALAM, M. Z.; AL-KHATIB, M. F. Production of sugar by hydrolysis of

empty fruit bunches using palm oil mill effluent (POME) based cellulases: Optimization study. **African Journal of Biotechnology**, v.10, n. 81, p.18722-18727, 2011.

ZAKARIA, M. R.; TABATABAEI, M.; GHAZALI, F. M.; ABD-AZIZ, S.; SHIRAI, Y.; HASSAN, M. A. Polyhydroxyalkanoate production from anaerobically treated palm oil mill effluent by new bacterial strain *Comamonas* sp. EB172. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 26, n. 5, p. 767-7742, 2010.

ZAREI, M.; EBRAHIMPOUR, A.; ABDUL-HAMID, A.; ANWAR, F.; SAARI, N. Production of defatted palm kernel cake protein hydrolysate as a valuable source of natural antioxidants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.13, n. 7, p. 8097-8111, 2012.



Agroindústria Tropical

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

